



KODAK GRAY SCALE



C	Red-Filter Negative	Cyan Printer	M	Green-Filter Negative	Magenta Printer	Y	Blue-Filter Negative	Yellow Printer
----------	---------------------	--------------	----------	-----------------------	-----------------	----------	----------------------	----------------



KODAK COLOR CONTROL PATCHES

These colors have been selected as representative of those inks commonly used in photomechanical reproduction.



Ueber die Anwendung
der
Lehre von den Gasionen
auf die
Erscheinungen der atmosphärischen
Elektricität

Von

Prof. Dr. Hans Geitel

Oberlehrer am Herzoglichen Gymnasium zu Wolfenbüttel

V o r t r a g

gehalten in der Gesamtsitzung der wissenschaftlichen Hauptgruppen
der 73. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in Hamburg,
mit ergänzenden Zusätzen und Literaturnachweisen versehen

Braunschweig

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn

1901

5.4.02

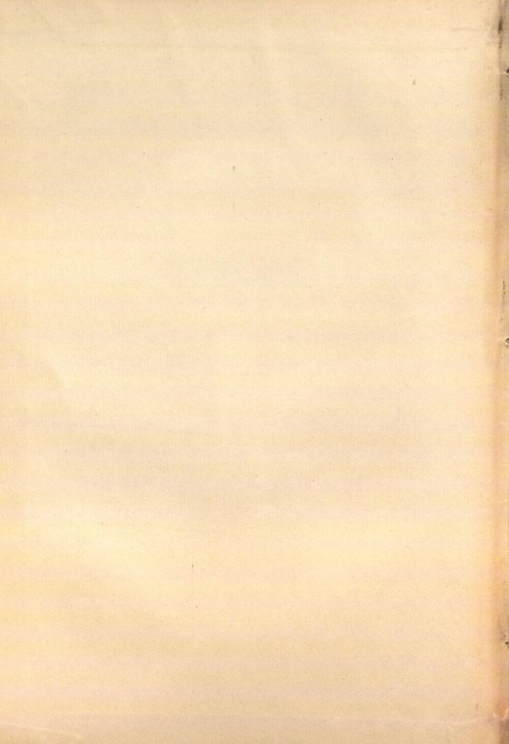
—,60

UB Braunschweig

84

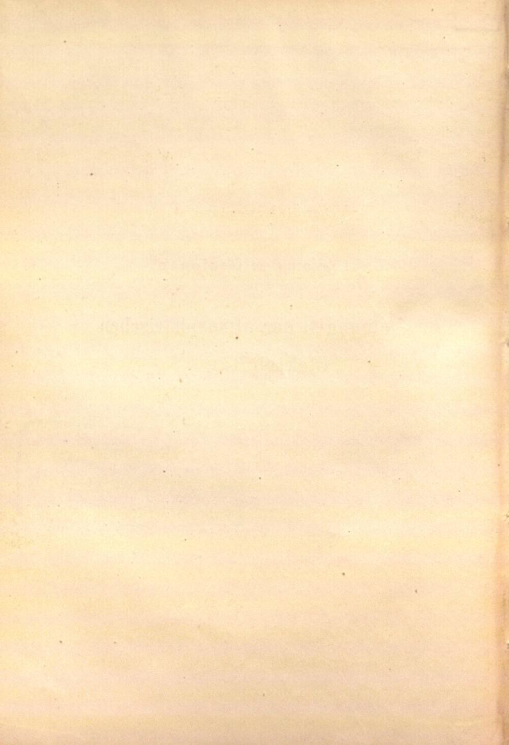


2303-741-6



Ueber die Anwendung
der
Lehre von den Gasionen
auf die
Erscheinungen der atmosphärischen
Elektricität

Bibliothek
der Verlagsbuchhandlung
FRIEDR. VIEWEG & SOHN
Braunschweig



Ueber die Anwendung
der
Lehre von den Gasen
auf die
Erscheinungen der atmosphärischen
Elektricität

Von

Prof. Dr. Hans Geitel

Oberlehrer am Herzoglichen Gymnasium zu Wolfenbüttel

V o r t r a g

gehalten in der Gesamtsitzung der wissenschaftlichen Hauptgruppen
der 73. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in Hamburg,
mit ergänzenden Zusätzen und Literaturnachweisen versehen

Braunschweig

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn

1901

Alle Rechte, namentlich dasjenige der Uebersetzung in fremde
Sprachen, vorbehalten



Es ist eine befremdende Erscheinung, daß das Problem der atmosphärischen Elektrizität, das älteste, das auf dem Gebiete der elektrischen Forschung sich darbot, trotz aller in anderen Richtungen erzielter Erfolge noch immer nicht als befriedigend gelöst betrachtet werden kann.

Seit Franklins Tagen, d. h. seit anderthalb Jahrhunderten, ist die elektrische Natur des Gewitters bekannt, fast ebenso lange die Existenz des normalen elektrischen Feldes über der Erdoberfläche¹⁾; welche der uns geläufigen Prozesse aber im ersten Falle die Scheidung der großen Elektrizitätsmengen bewirken, die im Blitze sich ausgleichen, im zweiten die Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre aufrecht erhalten, darüber lassen sich auch jetzt nur Annahmen von gewisser Wahrscheinlichkeit vorbringen.

Auf das deutlichste wird dieser unsichere Zustand dadurch gekennzeichnet, daß jedesmal, sobald es irgend möglich erschien, neu erworbene Kenntnisse der allgemeinen Elektrik auf unser Gebiet anzuwenden, man damit nicht zögerte. Die unipolare Induction des Erdmagneten, photoelektrische Einflüsse des Sonnenlichtes, thermoelektrische Prozesse in der Atmosphäre und Kathodenstrahlen sind neben anderen Erklärungsversuchen herangezogen²⁾, für die eine oder andere Seite der Aufgabe auch nicht ohne gewissen Erfolg.

Wiederum ist durch einen für die gesammte Electricitätslehre bedeutungsvollen Fortschritt, die Erkenntniß des Mechanismus der Gasentladungen, ein, wie es scheint, kräftigerer Hebel in unsere Hand gelegt, der die Bahn für erfolgreichere Forschung auch auf diesem Sondergebiete frei zu machen verspricht.

Es ist meinem Collegen Elster und mir die ehrenvolle Aufforderung zutheil geworden, daß einer von uns über die Anwendbarkeit der Elektronentheorie der Gase auf die luftelektrischen Erscheinungen einen Ueberblick geben möge; es wird zweckmäfsig sein, zuvor die wesentlichsten Thatsachen aufzuführen, die unter dieser Bezeichnung zusammengefaßt werden.

Um mit dem bekanntesten und daher nächstliegenden zu beginnen, gehen wir von den elektrischen Vorgängen aus, die den Fall der Niederschläge begleiten und die ihren Höhepunkt in den eigentlichen Gewittern erreichen.

Bei allen Niederschlagsfällen verrathen die am Erdboden aufgestellten elektrischen Sammel- und Beobachtungsapparate das Vorhandensein starker, im höchsten Grade unbeständiger Spannungsdifferenzen zwischen der Erde und der Atmosphäre. Die freien Electricitätsmengen, die diese Potentialunterschiede hervorrufen, haften dabei anscheinend an den Wolken, denen die Niederschläge entfallen, denn die elektrischen Wirkungen verschwinden mit ihrem Abzuge. Je plötzlicher der Proceß der Condensation des Wasserdampfes abläuft, um so kräftiger werden die elektrischen Anzeichen, sie sind am geringsten, oft kaum merklich, in ausgedehnten Gebieten spärlichen Niederschlages, sehr lebhaft dagegen bei den sogenannten Böen, die deshalb, auch wenn sie ohne Blitz und Donner ver-

laufen, den Gewittern in elektrischer Beziehung verwandt sind ³⁾).

Wie directe Beobachtungen (durch Auffangen der Niederschläge in einer gegen äußere Kräfte geschützten Schale) gezeigt haben, ist ein Theil der freien Elektricität, und zwar kann diese von positivem oder negativem Vorzeichen sein, an die Niederschlagstheilchen selbst gebunden und wird von diesen zur Erde geführt ⁴⁾. Keinesfalls geben die Beobachtungen einen Anhalt für die verbreitete Auffassung, daß der elektrische Proceß im Gewitter auf einer Ausgleichung schon vorher existirender Spannungsdifferenzen in der Atmosphäre beruhe, vielmehr muß die Elektricitätsentwicklung in einer Verbindung mit der Bildung und der Bewegung der Niederschlagstheilchen stehen, die Gewitterwolke muß in irgend einer Weise elektromotorisch wirken ⁵⁾).

Das Räthsel der Gewitterelektricität wird gelöst sein, sobald die Natur jener elektromotorischen Kraft festgestellt ist.

Von weit regelmärsigerem Verlaufe und der Forschung deshalb zugänglicher sind diejenigen Erscheinungen, die auf der auch bei Abwesenheit von Niederschlägen bestehenden Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre beruhen. Es ist durch zahlreiche Beobachtungen an Orten, die über den ganzen Erdball zerstreut sind, nachgewiesen worden, daß normalerweise bei heiterem Wetter ein elektrisches Feld über der Erdoberfläche besteht, dessen Niveauflächen der letzteren parallel laufen und in dem die Potentialwerthe mit steigender Höhe selbst zunehmen ⁶⁾. Hierdurch ist schon mit ausgedrückt, daß unter diesen Verhältnissen die der Atmosphäre zu-

gewandte leitende Erdoberfläche negativ elektrisch ist. Denkt man sich nun, daß für irgend eine Zeit auf der ganzen Erde kein Niederschlag fiele, so müßte die gesammte Erdkugel negativ elektrisch geladen sein. Ganz abgesehen davon, ob diese Voraussetzung jemals zutreffen kann, führt sie doch zu der fruchtbaren Fragestellung: Hat die Atmosphäre eine der des Erdkörpers gleiche und dem Zeichen nach ihr entgegengesetzte Ladung, so daß die Erde mit Einschluss der Atmosphäre, d. h. als Planet aufgefaßt nach außen elektrisch neutral ist, oder erstrecken sich die Kraftlinien des negativ geladenen Erdkörpers über die Grenzen der Atmosphäre in den Weltraum hinein?

Die in neuerer Zeit vom Korbe eines Freiballons aus unternommenen elektrischen Beobachtungen haben nun dargethan, daß bei heiterem Himmel die Atmosphäre positiv geladene Massen enthält. Dabei scheint die Gesamtladung der Luft bis zu einer Höhe von etwa 5000 m der der Erdoberfläche nahezu complementär zu sein, so daß ein zwingender Grund nicht besteht, der Erde als Weltkörper eine elektrische Eigenladung und daher auch Fernkräfte über das Gebiet ihrer Atmosphäre hinaus zuzuschreiben?).

Das soeben gekennzeichnete elektrische Feld über der Erdoberfläche erweist sich nun sowohl temporär als local veränderlich; es ist zunächst einer zweifachen, nämlich sowohl einer täglichen wie jährlichen Periode unterworfen.

Die letztere zeigt an Orten mit deutlichem Wechsel der Jahreszeiten die größten Potentialwerthe in den Wintermonaten und das Minimum im Sommer, die tägliche Periode ist stark von örtlichen Verschiedenheiten abhängig.

Legt man nach Exners rationellem Vorgange die Feldstärke über einem ebenen Stücke der Erdoberfläche

als Norm zugrunde, so fallen, wie schon aus elektrostatischen Principien folgt, die auf der Sohle von Thälern beobachteten Beträge kleiner, die auf Berggipfeln gemessenen gröfser als die normalen aus, dabei findet sich die zeitliche Veränderlichkeit im Thale beträchtlicher, auf Bergen oder Höhenstationen überhaupt geringer als in der Ebene ⁸⁾.

Nachdem wir so in dem Verhalten der Luftelektricität in Niederschlagsgebieten und bei heiterem Wetter die beiden Extreme vorweggenommen haben, erübrigt es noch, das Zwischenstadium zu kennzeichnen. Unter einer nicht regnenden Wolkendecke ist im allgemeinen das elektrische Feld von derselben Art wie bei wolkenlosem Himmel, nur von geringerer Intensität. Erreicht dagegen die Wolkendecke, wie in den Herbst- und Wintermonaten unseres Klimas, auch im Tieflande den Erdboden, so pflegen sehr bedeutende Feldstärken aufzutreten, der Bodennebel verhält sich, als sei er in abnorm hohem Grade positiv geladen ⁹⁾.

Mehr als eine eng zusammengeprefste Uebersicht der Grundthatsachen zu geben, ist an dieser Stelle nicht möglich, ebenso wenig wie die kritische Würdigung der zahlreichen hierher gehörigen theoretischen Arbeiten ¹⁰⁾. Wir wenden uns vielmehr zu der eigentlichen Aufgabe, darzulegen, wie jene Grundthatsachen zu ordnen sind unter der Annahme der Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre, und beginnen mit der Andeutung des Weges, der zu dieser Vorstellung geführt hat.

Es war die klare Erkenntnifs eines Paradoxons, eines scheinbaren Widerspruchs in den Erfahrungen, durch die ein neuer Gedankengang eingeleitet wurde.

Ein jeder der Berührung mit der Luft ausgesetzter

elektrisirter Körper verliert im Laufe der Zeit mehr und mehr von seiner Ladung, und zwar ist diese Einbuisse, wie schon Coulomb bewiesen hat, bei zweckmäßiger Versuchsanordnung nur zum allergeringsten Theile durch Abfluß längs der isolirenden Träger zu erklären. Die Luft selbst, und zwar zunächst mit Einschluss aller Beimengungen und in ihr schwebender Fremdkörper betrachtet, muß daher ein gewisses elektrisches Leitvermögen haben, dieses Wort im allgemeinsten Sinne verstanden.

Da nun die Erdoberfläche bei heiterem Himmel negativ elektrisch geladen ist, so folgt ohne weiteres, daß auch diese Ladung allmählich durch Leitung in die darüber lagernde Atmosphäre übergehen wird. Hierdurch müßte aber das elektrische Feld über der Erdoberfläche geringer und zwar schon in wenigen Stunden unmeßbar klein werden. Eine dauernde Existenz jenes Feldes, wie sie doch durch die Beobachtungen festgestellt ist, würde demnach mit jener ebenfalls sicher constatirten Leitfähigkeit der Luft unverträglich sein. Ein Ausweg aus dieser Schwierigkeit erscheint nur möglich unter der weiteren Annahme, daß im ganzen genommen in dem Maße, wie die Ladung der Erdoberfläche verschwindet, sie auf andere, noch unbekannte Weise wieder ersetzt wird ¹¹⁾. Die Frage, wie die Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre trotz unausgesetzten Elektrizitätsflusses sich im ganzen stationär erhält, stellt das Grundproblem bei der Erforschung der normalen atmosphärischen Elektrizität dar.

Durch besondere Einfachheit gegenüber dieser Schwierigkeit zeichnete sich der Gedanke Exners aus, daß der Uebergang der negativen Erdbodenelektrizität in die Luft

zugleich mit der Verdampfung des Wassers stattfinde und zwar in der Weise, daß der Wasserdampf selbst die elektrischen Ladungen mit sich führe und sie dauernd bewahre und daß bei späterer Condensation das Wasser in der Gestalt von Niederschlag eben dieselbe Ladung der Erde zurückerstatte, die es ihr bei der Verdampfung entzogen habe. Indessen entspricht die zugrundeliegende Annahme, nach der die Elektrizitätsabgabe vom Erdboden aus mit der Verdampfung des Wassers eng verkettet wird, den Thatsachen nicht, und trotz vieler auf Grund der Exnerschen Theorie erzielter Erfolge bleiben die fundamentalen Schwierigkeiten ungehoben¹²⁾.

Es ist daher von großem Nutzen gewesen, daß Linss nachdrücklich auf das gekennzeichnete Grundproblem hinwies und zunächst die Erforschung des Elektrizitätsabflusses in der freien Luft, der „elektrischen Zerstreuung“, empfahl und selbst anbahnte.

Nachdem die technischen Schwierigkeiten der Aufgabe überwunden waren, den Elektrizitätsverlust eines geladenen Körpers, der von der Berührung mit der Luft herrührt, von dem Verluste über den isolirenden Träger mit Sicherheit zu trennen¹³⁾, verriethen schon die ersten Messungen der Elektrizitätszerstreuung in der freien Atmosphäre, daß die allgemein verbreitete Ansicht von der Natur dieses Vorganges einer Aenderung bedürfte. Hier nach sollte nämlich die Luft in absolut reinem Zustande ein vollkommener Isolator sein und die Elektrizitätszerstreuung als eine Art von scheinbarer Leitung durch den nie völlig fehlenden Staub bewirkt werden, der nach seiner Berührung mit dem elektrisirten Körper einen Theil von dessen Ladung entführe.

Im Gegensatze zu dieser Anschauung zeigte sich, daß die Luft um so besser leitet, je durchsichtiger, d. h. je freier an suspendirten Fremdkörpern sie ist. Alle anderen meteorologischen Elemente, die absolute und relative Feuchtigkeit, die Temperatur, ja selbst die Windstärke sind nicht von so durchschlagendem Einflusse auf die Elektricitätszerstreuung als die direct aus der Sichtbarkeit verschieden entfernter Objecte geschätzte Durchsichtigkeit der Luft ¹⁴⁾.

Diese Wahrnehmung führte zu Messungen des Leitvermögens der reinen Gebirgsluft, das sich in den Hochthälern der Alpen in der That weit größer als das der Tieflandsluft erwies. Auch im hohen Norden ist die Elektricitätszerstreuung, wie Paulsen in Island und Elster in Spitzbergen fanden, von beträchtlicher Gröfse ¹⁵⁾. In der freien Atmosphäre nimmt sie nach den Erfahrungen von Ebert mit wachsender Erhebung über der Erdoberfläche zu ¹⁶⁾. Alle diese Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die ungetrübte Luft; tritt Nebelbildung ein, so sinkt der Elektricitätsverlust unter allen Umständen auf sehr kleine Beträge herab.

Eine weitere Erscheinung, die zuerst im Gebirge beobachtet wurde, war die Abhängigkeit des Zerstreuungsverlustes vom Vorzeichen der Ladung. Während dieser im Tieflande und auf der Sohle von Thälern bei geschützt aufgestelltem Apparate für beide Elektricitätsarten durchschnittlich gleich groß gefunden wird, ergiebt sich auf Bergspitzen ein bedeutendes Ueberwiegen der Zerstreuung für negative Elektricität. Hierdurch ist erwiesen, daß die Luft an solchen Orten nicht elektrisch neutral ist, sondern positiv geladene Massen enthalten muß. Es schien von

vornherein nicht zweifelhaft, daß die hohe Intensität des elektrischen Feldes der Erde über Berggipfeln diese Anomalie bewirkte.

Aus den beiden Thatfachen der Zunahme des Leitvermögens der Luft mit der Abnahme der Zahl der in ihr suspendirten Fremdkörper und der durch die geometrische Gestalt der Erdoberfläche bedingten Abhängigkeit vom Vorzeichen der Ladung hätte allein schon die Unzulänglichkeit der Staubtheorie gefolgert werden können, doch war auf jeden Fall eine experimentelle Nachahmung der natürlichen Verhältnisse wünschenswerth ¹⁷⁾.

Es gelingt nun in der That leicht, in einem größeren geschlossenen Raume die Elektrizitätszerstreuung durch Verbreitung von irgend welchem Rauch, z. B. von Salmiaknebeln, fast völlig aufzuheben. In kleineren Gefäßen läßt sich durch Expansion von mit Feuchtigkeit gesättigter Luft vorübergehende Nebelbildung hervorrufen, auch hier zeigt sich das Entstehen oder Verschwinden des Nebels wie in der Natur mit entsprechender Verminderung und Vermehrung der Elektrizitätszerstreuung verbunden. Die natürliche Luft verhält sich in dieser Beziehung gerade so wie solche, die durch Röntgen- oder Becquerelstrahlen künstlich leitend gemacht ist.

Auch die in dem elektrischen Felde einer Bergspitze beobachtete einseitige Entladung negativer Elektrizität läßt sich nachahmen, indem man ein von der Ladung des Versuchskörpers, deren Abnahme man messen will, unabhängiges zweites elektrisches Feld herstellt. Am einfachsten geschieht dies dadurch, daß man den gesamten Apparat, der zur Messung der Elektrizitätszerstreuung dient, innerhalb eines isolirten allseitig geschlossenen Käfigs aus

Drahtgeflecht anbringt, den man durch eine Accumulatoren-batterie auf beliebige positive und negative Potential-niveaux laden kann. Alsdann erscheint die Zerstreuung im Drahtkäfig von dem außerhalb herrschenden Felde abhängig; bei gleichem Vorzeichen der Ladungen innen und außen ist die Zerstreuung im Innern weit größer als bei entgegengesetztem. Auch dieser Versuch gelingt in gleichem Sinne, nur in stark übertriebenem Mafsstabe, sobald man außerhalb des Drahtkäfigs die Luft, etwa durch eine Flamme, künstlich leitend macht.

Man ist auf Grund dieser Erfahrungen und anderer¹⁸⁾, die wir hier übergehen, da sie keine so nahe Beziehung zur atmosphärischen Elektrizität haben, zu der Behauptung berechtigt, daß die natürliche Luft hinsichtlich ihres elektrischen Leitvermögens im wesentlichen nur graduelle Unterschiede von solcher zeigt, die auf künstlichem Wege in abnormer Weise leitend gemacht ist.

Hiermit ist schon die Annahme der Existenz freier Ionen in der natürlichen Luft ausgesprochen.

Der Vorgang der Elektrizitätszerstreuung wäre demnach in der Art aufzufassen, daß die in der Luft normalerweise in gleicher Anzahl vorhandenen positiven und negativen Ionen in dem Kraftfelde des geladenen Körpers sich bewegen; die gleichnamigen entfernen sich, während die ungleichnamigen zur Berührung mit ihm gelangen und seine Ladung allmählich vermindern. Ist die Luft frei von Fremdkörpern, so finden die Ionen bei ihrer Bewegung kein Hindernis, bei Vorhandensein von Staub irgend welcher Art bleiben sie durch den Antrieb des ein jedes Ion umgebenden Kraftfeldes an solchen Partikelchen hängen, denen sie unterwegs nahe genug kommen, und werden

durch den verhältnißmäßig sehr großen Zuwachs an Masse lahm gelegt; die Leitfähigkeit der Luft erscheint infolgedessen vermindert.

Ist neben dem des Versuchskörpers noch ein weiteres elektrisches Feld vorhanden, so wird dies, je nachdem es dem ersten gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist, die entladenden Ionen schon aus größerer Entfernung heranziehen oder sie zurückstoßen. In dem Falle der Elektrizitätszerstreuung auf Bergspitzen ist es das hier abnorm verstärkte elektrische Feld der negativ geladenen Erde, das die Luft mit positiven Ionen erfüllt, also die Zerstreuung der negativen Elektrizität begünstigt¹⁹⁾.

Was nun die Quelle der Ionisirung der Luft anlangt, so könnte man dabei zunächst an äußere Einflüsse denken.

Wie von Lenard²⁰⁾ gezeigt ist, bewirken die Strahlen des äußersten Ultraviolett eine Ionisirung der Luft, indem sie von dieser schon in dünnen Schichten absorbiert werden. Darf man nun annehmen, daß das Sonnenlicht im Weltraume Strahlen dieser Art enthält, so müßten diese beim Eindringen in die Erdatmosphäre unter gleichzeitiger Ionenbildung aufgenommen werden. Daß die höchsten Schichten der Atmosphäre gelegentlich leitend, also ionisirt sein müssen, folgt übrigens auch aus den Leuchtphänomenen, die wir in den Polarlichtern beobachten. Aus diesen höchsten Lagen der Lufthülle könnten die dort gebildeten Ionen durch Diffusion bis zur Erdoberfläche herabgelangen.

Ohne die Möglichkeit derartiger Vorgänge zu leugnen, möchten wir es vorziehen, zunächst die Grenzen der experimentell controlirbaren Erscheinungen nicht zu verlassen,

um so mehr, als vor der Hand ein Bedürfnis zu weiter gehenden Annahmen nicht vorliegt.

Die Luft selbst, losgelöst von dem Zusammenhange mit der Atmosphäre, hat nämlich, wie aus dem Verhalten hermetisch abgeschlossener Mengen hervorgeht, die Eigenschaft, eine von der Gröfse des abgegrenzten Volumens, dem Druck und der Temperatur abhängige Ionenmenge in der Zeiteinheit von selbst zu erzeugen, bis ein Gleichgewichtszustand in der Art erreicht wird, dafs sich ebenso viel Ionen in einer bestimmten Zeit zu neutralen Moleculen wieder vereinigen, als inzwischen neu gebildet werden ²¹⁾.

Läge die Quelle der Ionisirung ausserhalb des abschliessenden Gefäfses, so müfste die Elektrizitätszerstreuung im Innern mit der Zeit sehr schnell abnehmen und schliesslich ganz aufhören, sobald sämtliche anfangs vorhandenen Ionen durch die Elektrizitätsübertragung verbraucht sind. Im Gegensatze dazu beobachtet man sogar im Laufe mehrerer Tage eine gewisse Zunahme, die anzeigt, dafs die Ionenbildung im Wachsen begriffen ist. Sehr auffallend ist die enorme Gröfse der Zerstreuung, die im Zusammenhange hiermit in Höhlen und weiten Kellern beobachtet wird, die lange Zeit gegen die Aussenluft abgeschlossen waren. Zum Theil erklärt sie sich durch die grofse Staubreinheit der lange Zeit in Ruhe gewesenen Luft, zum Theil aus dem Fehlen eines elektrischen Feldes in solchen Räumen, so dafs ein Verlust von Ionen, wie in der freien Atmosphäre, hier nicht eintritt. Aber beide Gründe sind, wie directe Versuche an kleinen Luftmengen gezeigt haben, zur vollständigen Erklärung der Erscheinung nicht ausreichend, die sich in diesem Falle in ganz

besonders deutlicher Weise wiederum bei Gegenwart radioactiver Substanzen zeigt ²²⁾.

Die hierdurch geweckte Vermuthung, daß auch die reine atmosphärische Luft Spuren von Radioactivität erkennen lassen werde, hat sich in der Folge bestätigt. Es ist möglich, Körpern der verschiedensten Beschaffenheit eine vorübergehende, sogenannte inducirte Radioactivität mitzutheilen, indem man sie nur mit negativer Ladung der freien Luft einige Stunden lang aussetzt. Auf diese Weise hatte Rutherford ²³⁾ mit solcher Luft, die über die bekanntlich radioactive Thorerde gestrichen war, die inducirte Strahlung erhalten, es zeigte sich also, daß auch in dieser Beziehung sich die natürliche Luft qualitativ wie die künstlich durch Becquerelstrahlen activirte verhält. Ob diese geringe Radioactivität der Luft ursprünglich zukommt oder erst vom Erdboden oder den begrenzenden Wänden aus inducirt ist, läßt sich noch nicht mit Sicherheit entscheiden. Auf jeden Fall darf man — schon als Folge dieser Radioactivität — der Luft die Eigenschaft zuschreiben, andauernd von selbst eine von Druck und Temperatur abhängige Menge von Ionen in der Volumeinheit in einer bestimmten Zeit zu erzeugen.

Geht man nun von der Ionisirung der Luft als einer gegebenen Thatsache aus, so bietet sich von selbst die Frage nach den Folgeerscheinungen dieses Zustandes dar ²⁴⁾. Man weiß, daß künstlich ionisirte Luft bei Berührung mit Leitern diese elektrisch macht. Die Erscheinung wird auf eine verschiedene Wanderungsgeschwindigkeit der beiden Arten von Ionen zurückgeführt, und zwar lassen die bisher bekannten Thatsachen darauf schließen, daß es

die negativen sind, denen bei gleichem Antriebe die gröfsere Beweglichkeit zukommt. So haben, wie zuerst Zeleny beobachtete, isolirte Leiter die Neigung, beim Contact mit solcher Luft, die durch Röntgenstrahlen künstlich leitend gemacht ist, sich negativ zu laden²⁵⁾. Diese spontane Ladung hat einen Grenzwert, der dann eintritt, wenn das den Körper umgebende elektrische Feld so stark geworden ist, dafs es durch Beschleunigung der positiven Ionen den Unterschied ihrer Beweglichkeit gegen die negativen ausgleicht. Darf man nun voraussetzen, dafs auch die Luft der freien Atmosphäre mehr negative als positive Ionen an den Erdkörper abgiebt, und diese Annahme hat bei der vollständigen qualitativen Uebereinstimmung der natürlichen und der künstlich ionisirten Luft nichts allzu Gewagtes, so wäre die negative Eigenladung der Erde und die Existenz des normalen elektrischen Feldes der Atmosphäre von selbst gegeben. Die Grenze der Erdladung ist wiederum erreicht, sobald jenes elektrische Feld, das die Folge eben dieser Ladung ist, den trägeren positiven Ionen eine so weit gesteigerte Geschwindigkeit mittheilt, dafs die freiwillige Zuströmung der negativen Ionen neutralisirt wird. Man kann in dieser Betrachtung noch etwas weiter gehen und behaupten, dafs die Einwanderung der negativen Ionen daher vorzugsweise an solchen Orten stattfinden wird, die zwar mit der Erde in leitender Verbindung, aber aufserhalb des Wirkungsbereiches ihres elektrischen Feldes stehen. Hierzu gehört insbesondere die innere Oberfläche aller mit Vegetation bedeckten Gebiete.

Man erkennt, mit welcher Einfachheit sich das Problem der normalen atmosphärischen Elektrizität zu lösen scheint:

an allen geschützt liegenden Orten strömt die negative Elektrizität unausgesetzt aus der Luft in die Erde ein, um an allen frei gelegenen, insbesondere den Berggipfeln, durch die in dem entstandenen Felde wandernden positiven Ionen neutralisirt zu werden, dabei ist die gesammte Ladung der Erde als Weltkörper nach aussen gleich Null, indem die negative der leitenden Erdoberfläche der positiven, in der Atmosphäre enthaltenen komplementär ist. Da die negative Bodenelektrizität, einmal auf die Erde übergegangen, sich auf deren Oberfläche überallhin verbreiten kann, so geschieht ihr Ersatz in stationärer Weise so, daß die gesammte Ladung des eigentlichen Erdkörpers constant bleibt. Dagegen ist die an einem bestimmten Orte beobachtete Feldstärke, d. h. das luftelektrische Potentialgefälle, von den localen Verhältnissen abhängig, nämlich einerseits von der Gestalt der Erdoberfläche, andererseits von der Menge der freien Ionen in der darüber lagernden Luft.

Auf Bergspitzen ist es, wie ja schon anfangs bemerkt wurde, infolge der dort stärkeren Dichtigkeit der negativen Erdelektrizität gröfser als in der Ebene oder gar in Thälern, aufserdem mufs es um so höher werden, je reicher die Luft an positiven Ionen ist und je näher die von diesen erfüllten Räume der Erdoberfläche kommen. Alles, was deren Anhäufung in den unteren Luftschichten begünstigt, wird die Potentialdifferenz zwischen der Erde und der unmittelbar darüber lagernden Luft, „die Spannung der Luftelektrizität“ vergrößern. Vor allem wird der Bodennebel, indem er die gegen die Erdoberfläche wandernden positiven Ionen in sich festhält, das elektrische Feld verstärken. Ueberhaupt mufs im grofsen und ganzen der

Gang des Potentialgefälles umgekehrt wie der der Leitfähigkeit der Luft verlaufen ²⁶⁾).

Ob es möglich sein wird, die tägliche und jährliche Periode der Lufterlektricität vollständig auf entsprechende Veränderungen des Leitvermögens der unteren atmosphärischen Schichten zurückzuführen, muß späteren Untersuchungen vorbehalten werden, insbesondere auch die Frage, wie die radioactiven Eigenschaften der Luft, die vielleicht selbst veränderlich sind, diese Erscheinungen beeinflussen.

Die elektrischen Störungen während des Falles von Niederschlägen lassen sich vermittelt der Ionentheorie ebenfalls in einer Weise ordnen, daß sie mit den experimentell zugänglichen Erscheinungen in gewissen Zusammenhang treten. Es ist bekannt, daß künstlich ionisirte Luft, wenn sie mit Feuchtigkeit gesättigt und dann expandirt wird, in ähnlicher Weise verstärkte Nebelbildung zeigt, wie es bei Anwesenheit von Staub der Fall ist. Durch die Experimentaluntersuchungen englischer Physiker, insbesondere von C. T. R. Wilson, ist festgestellt, daß die negativen Ionen die Nebelbildung bei geringeren Graden der Uebersättigung, also der Expansion, herbeiführen als die positiven ²⁷⁾).

Nebel, der in staubfreier, in aufsteigender Bewegung begriffenen Luft durch Uebersättigung infolge der Expansion entsteht, müßte demnach, wenn die Ionen der natürlichen Luft sich auch in dieser Beziehung wie die künstlich erzeugten verhalten, selbst negativ elektrisch sein und die gleiche Elektricität werden die aus ihm hervorgehen-

den Tropfen zur Erde führen. Hiernach wäre das Auftreten negativ geladener Niederschläge verständlich und zugleich eine zweite Quelle für die normale negative Ladung der Erdoberfläche gefunden. Die Luft, der durch den Fall der Tropfen negative Ionen entzogen sind, bliebe positiv geladen zurück. Erst bei viel weiter gehender Uebersättigung könnten auch die positiven Ionen zu Condensationskernen werden und mit dem Niederschlagswasser zur Erde herabkommen.

Als Stütze dieser Auffassung läßt sich anführen, daß thatsächlich die Niederschläge häufig negativ elektrisch sind und daß positive Ladungen, von meist sehr hohem Betrage, in der Regel während der sogenannten Platzregen beobachtet werden, die wohl den größten Uebersättigungen ihre Entstehung verdanken ²⁸⁾.

Da die Luft die ihr entzogenen Ionen von selbst wiedererzeugt, so erscheint die so gefundene Quelle der Niederschlags Elektrizität, auf die zuerst J. J. Thomson ²⁹⁾ hingewiesen hat, vielleicht als reich genug, um die elektrische Thätigkeit eines Gewitters erklärlich zu machen.

Dringend ist es, der quantitativen Seite dieser Frage wegen zu wünschen, daß Messungen der Eigenelektricität des bei Expansion abgeschlossener ionisirter Luftmassen gebildeten Condensationswassers versucht würden ³⁰⁾.

Mag auch, besonders wenn der Blick an den gröberen Umrissen haftet, das Gesamtbild der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen, von dem neuen Standorte aus gesehen, sich günstig zusammenfügen, so ist doch nicht zu vergessen, daß manche Annahmen und Verknüpfungen

noch unzureichend begründet waren und einer schärferen Prüfung vielleicht nicht standhalten werden. Besonders ist der Nachweis noch zu erbringen, daß sowohl der Gehalt der Luft an freien Ionen, wie auch deren Neubildung quantitativ genügt, um die Aeußerungen der atmosphärischen Elektrizität darauf zurückzuführen ³¹⁾.

Man darf wohl voraussehen, daß in nicht ferner Zeit ein anderes Gebiet der Geophysik, nämlich das des Erdmagnetismus, mit dem der Luftelektrizität in engere Verbindung treten wird. Hoffentlich gelingt es, wie jetzt angestrebt wird, die magnetischen Messungen so einzurichten und zu verfeinern, daß sie den Betrag des Elektrizitätsaustausches zwischen begrenzten Theilen der Erdoberfläche und der Atmosphäre mit einiger Sicherheit zu schätzen erlauben ³²⁾. Ob das vorschwebende Ziel erreicht werden wird, die Intensität jener elektrischen Strömungen einerseits aus dem Zustande der Atmosphäre, insbesondere der Leitfähigkeit der Luft und der Stärke des elektrischen Feldes über der Erdoberfläche, andererseits aus ihren magnetischen Wirkungen in übereinstimmender Weise abzuleiten, steht dahin. Auf jeden Fall gewährt das Zusammengehen der beiden verwandten Forschungsbereiche für das der Luftelektrizität die Aussicht auf neue und werthvolle Aufschlüsse.

Sollte das Dunkel, das über den Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität noch liegt, vor den durch die allgemeine Elektronentheorie geschaffenen Vorstellungen und Erfahrungen wirklich zurückweichen, so würde damit zugleich verständlich werden, warum die Erkenntniss des Zusammenhanges der elektrischen Vorgänge, die uns die Natur

bietet und die uns täglich umgeben, so lange auf sich warten gelassen hat. Der lange und mühevollen Weg, der die allgemeine Physik zu der Ausbildung des Elektronenbegriffes und dadurch zu so wunderbaren Erfolgen führte³³⁾, würde dann auch den luftelektrischen Untersuchungen erst die Richtung aufs Ziel gewiesen haben.

Anmerkungen.

1. Die Thatsache, dafs ein in der Luft emporgehobener Leiter (Drache mit Schnur oder ein isolirt ausgespannter Draht) auch bei heiterem Himmel sich positiv elektrisch gegen die Erde erweist, ist bald nach Franklins Versuchen (1751), die sich zunächst auf die Gewitterelektricität bezogen, beobachtet und von Le Monnier, Muschenbroek, Beccaria u. a. weiter untersucht worden. Eine vollständige und übersichtliche Darstellung der Geschichte unserer Kenntnisse von der atmosphärischen Elektricität findet sich bei F. Exner: „Ueber die Ursache und die Gesetze der atmosphärischen Elektricität.“ Wiener Berichte 93, S. 222, 1886.

2. Gemeint sind die Arbeiten von:

E. Edlund, Recherches sur l'induction unipolaire, l'électricité atmosphérique et l'aurore boréale. Svenska Ak. Handlingar 16, Nr. 1, 1878.

S. Arrhenius, Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlen auf die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre. Met. Zeitschr. 5, S. 297, 1888.

J. Elster und H. Geitel, Beobachtungen des atmosphärischen Potentialgefälles und der ultravioletten Sonnenstrahlung. Wiener Berichte 101, S. 703, 1892.

C. Liebenow, Die atmosphärische Elektricität, ihre Vertheilung und wahrscheinliche Ursache. Halle, W. Knapp. 1900.

Kathodenstrahlen in den oberen atmosphärischen Schichten als Ursache des Polarlichtes vermuthet A. Paulsen. (Natur und Ursache des Polarlichtes. Met. Zeitschr. 11, S. 450, 1894.)

3. Die Unbeständigkeit der elektrischen Spannungsdifferenz zwischen der Erde und der Atmosphäre bei Niederschlagsfällen, ihr rascher Wechsel von hohen positiven zu negativen Werthen ist schon den ersten Beobachtern aufgefallen. Es ist bei Ge-

wittern häufig unmöglich, den Gang des Potentialgefälles mit photographischen Registrirapparaten zu verzeichnen; die Capacität des Elektrometers und die Trägheit seiner beweglichen Theile sind zu groß, um den schnellen Schwankungen von weiter Amplitude folgen zu können. Diagramme dieser Art, die während der Hauptthätigkeit des Gewitters sich in eine Reihe von zur Zeitachse senkrechten Strichen auflösen, finden sich z. B. in T. C. Mendenhall, Report of studies of atmospheric electricity. Memoirs of the (American) national academy of sciences 1889, p. 169.

Untersuchungen über den Zeichenwechsel der atmosphärischen Elektrizität bei Regenfällen hat auch Palmieri angestellt. (Leggi ed origine della elettricità atmosferica 1882.)

4. Die Feststellung der Eigenelektrizität der Niederschläge begegnet der großen Schwierigkeit, daß die Auffangeschale Schutz gegen die Kräfte des häufig sehr starken elektrischen Feldes der Atmosphäre haben, zugleich aber die Niederschläge direct aus der Luft, d. h. ohne vorherige Berührung mit anderen Leitern aufnehmen muß.

Eine genaue Beschreibung eines zu diesem Zwecke construirten Apparates mit Angabe der Resultate findet sich in den Abhandlungen: J. Elster und H. Geitel, Beobachtungen, betreffend die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge. Wiener Berichte 99, S. 421, 1890 und Beobachtungen der Eigenelektrizität der atmosphärischen Niederschläge. Terrestrial Magnetism. 4, S. 15, 1899.

Die Resultate sind auch in Form von Diagrammen gegeben, die sowohl den Gang des Potentialgefälles, wie die von den Niederschlägen zur Erde geführten Elektrizitätsmengen darstellen.

5. Man kann vielmehr häufig am Morgen eines Tages, an dessen Nachmittage ein Gewitter eintritt, abnorm niedrige Werthe des Potentialgefälles beobachten. Auch auf dem Sonnenblickobservatorium bemerkten wir gelegentlich ein Herabsinken des elektrischen Feldes bis auf Null einige Stunden vor Ausbruch eines Gewitters. (Met. Zeitschr. 8, S. 333, 1891.)

6. Die planmäßige Untersuchung des elektrischen Feldes über der Erdoberfläche in neuerer Zeit verdankt man Lord Kelvin und besonders F. Exner. Lord Kelvins Arbeiten auf diesem Gebiete findet man gesammelt in dem „Reprint of papers on electricity and magnetism“, London, Macmillan, 1884; p. 192 ff. Die fundamentale Abhandlung F. Exners ist schon unter Anm. 1 genannt.

Nicht wenig zur Förderung der Arbeiten über Luftelektricität hat die Construction einfacher transportabler Meßapparate beigetragen, die ebenfalls von Exner herrührt. (Ueber transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität. Wiener Berichte 95, S. 1084, 1887.)

7. Die neueren Messungen des elektrischen Feldes der Atmosphäre vom Freiballon aus, durch Tuma, Börnstein, Baschin und le Cadet haben übereinstimmend eine Abnahme der Feldstärke mit der Höhe (bei genügender Erhebung des Ballons) ergeben und sind dadurch für alle die Theorien der atmosphärischen Elektricität verhängnißvoll geworden, die einen normalen Gehalt der Luft an negativer Elektricität annahmen. Eine Zusammenfassung der bis 1898 erhaltenen Resultate giebt le Cadet: „Etude du champ électrique de l'atmosphère.“ Paris et Lyon 1898.

Auch die Annahme einer Eigenladung anderer Weltkörper, wie des Mondes (vergl. N. Ekholm und S. Arrhenius, „Ueber den Einfluß des Mondes auf den elektrischen Zustand der Erde“, Bihang till K. Svenske Vet. Ak. Handlingar 19. Afd. I, 8, 1893), ist schwerlich noch aufrecht zu erhalten, nachdem die der Erde sich als höchst zweifelhaft erwiesen hat.

8. An neueren Arbeiten über die Periode der Luftelektricität ist zu nennen: Chauveau, „Sur la variation diurne de l'électricité atmosphérique“. Journal de physique. November 1899 und F. Exner: „Beiträge zur Kenntniß der atmosphärischen Elektricität VII. Ueber die tägliche Periode der Luftelektricität.“ Wiener Berichte 110, S. 371, 1901.

Man kann das wesentliche Ergebniss dahin zusammenfassen, daß die tägliche Periode, wenigstens zum großen Theile, durch Aenderungen des elektrischen Zustandes der unmittelbar über dem Erdboden liegenden Luftschichten bedingt wird. Zu demselben Schlusse — auch in betreff der jährlichen Periode — waren wir bei der Discussion des Materials an Beobachtungen gelangt, die Peter Lechner für uns auf dem Sonnblickgipfel gemacht hat. (J. Elster und H. Geitel, Wiener Berichte 102, S. 1295, 1893 und 104, S. 37, 1895.)

Die Frage nach dem Einfluß der Bodengestaltung auf das Potentialgefälle ist theoretisch behandelt worden von Benndorf: „Ueber die Störungen des normalen atmosphärischen Potentialgefälles durch Bodenerhebungen.“ Wien. Ber. 109, S. 93, 1900.

9. Diese Erfahrung machten bereits die ersten Beobachter. Eine positive Eigenladung der Nebelschicht folgt aus der Angabe

von Chree, dafs an Nebeltagen das Potentialgefälle am Boden gröfser ist als in der Höhe. (Chree, „Observations on atmospheric electricity at the Kew-Observatory.“ Proc. Roy. Soc. 60, S. 104, 1896.)

10. Ein Bild von dem Stande der Forschung im Jahre 1897 haben wir zu geben versucht in der Programmabhandlung des Herzoglichen Gymnasiums zu Wolfenbüttel: Zusammenstellung der Ergebnisse neuer Arbeiten über atmosphärische Elektrizität, Wolfenbüttel 1897.

11. Dieser Gedanke ist zuerst von Linss ausgesprochen: „Ueber einige die Wolken und Luftpotelektricität betreffende Probleme.“ Met. Zeitschr. 4, S. 355, 1887.)

12. Exner entwickelt seine Theorie in der unter Anm. 1 citirten Abhandlung.

Die Grundfrage, ob der Wasserdampf Elektrizität fortführen kann, ist von verschiedenen Forschern verneint worden. (Sohncke, Berichte d. bayr. Ak., 4. Februar 1888; Kalischer, Wied. Ann. 20, S. 614, 1883; Blake, Wied. Ann. 18, S. 525, 1883; Schwalbe, Wied. Ann. 58, S. 500, 1896.) Außerdem stimmt der durch die Messungen des Potentialgefälles vom Ballon aus festgestellte Gehalt der Luft an positiver Elektrizität nicht mit der Theorie überein. Aus demselben Grunde mufste auch die photoelektrische Theorie (Arrhenius, Elster und Geitel, vergl. Anm. 2) aufgegeben werden.

13. Die Methode, die Elektrizitätszerstreuung zu messen, sowie die ersten Ergebnisse sind beschrieben in den Abhandlungen: J. Elster und H. Geitel: „Ueber einen Apparat zur Messung der Elektrizitätszerstreuung in der Luft“, Phys. Zeitschr. 1, S. 11, 1899; „Ueber die Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre“, Terr. Magnetism and atm. Electricity 4, S. 213, 1899; „Ueber Elektrizitätszerstreuung in der Luft“, Drudes Ann. 2, S. 425, 1900. Die Anwendung der Ionenlehre auf atmosphärische Elektrizität ist für sich behandelt in den „Beiträgen zur Kenntniss der atmosphärischen Elektrizität“, Phys. Zeitschr. 1, S. 245, 1900.

14. Ein gewisser Einflufs der relativen Feuchtigkeit ist allerdings merklich, insofern die Zerstreuung mit zunehmender Feuchtigkeit der Luft geringer wird. Schon die vermehrte Neigung der Luft zur Nebelbildung verlangsamt hiernach die Zerstreuung. Sehr deutlich fand Elster diese Erscheinung in Spitzbergen. („Messungen der elektrischen Zerstreuung in der freien atmosphärischen Luft an geographisch weit von einander ent-

fernten Orten“, Phys. Zeitschr. 2, S. 116, 1900), auch Pocchettino (Rend. della R. Acc. dei Lincei 10, p. 104, 1901) hat sie bei Conegliano (Treviso) beobachtet.

15. A. Paulsen, „L'aurore boréale d'après les travaux de la mission Danoise en Islande“. Rapport présenté au Congrès international de physique. Paris 1900. J. Elster in der in der vorigen Anmerkung genannten Arbeit.

16. H. Ebert, Berichte d. bayrischen Akademie d. Wissenschaften 30, S. 511, 1900 und 31, S. 35, 1901.

17. Die im Folgenden angedeuteten Versuche sind genau beschrieben in unserer unter Anmerkung 13 citirten Abhandlung in Drudes Annalen.

18. Es wären besonders noch zwei Thatsachen zu nennen. Die Luft innerhalb eines geräumigen elektrisirten Drahtkäfigs nimmt infolge der Einwanderung entgegengesetzt geladener Ionen eine elektrische Ladung an, die im Vorzeichen der des Käfigs entgegengesetzt ist. Ferner gilt in kleinen, abgeschlossenen Luft-räumen das von Coulomb aufgestellte Gesetz nicht mehr, nach welchem die Menge der in der Zeiteinheit verschwindenden Elek-tricität der Ladung proportional ist. Es werden bei genügend hoher Ladung vielmehr in gleichen Zeiten gleiche Elektrizitäts-mengen zerstreut, der sogenannte Sättigungsstrom ist erreicht. Schon Matteucci, Ann. de Chimie et de Physique 28, p. 390, 1850, hat dies Verhalten nachgewiesen. Vergl. auch Anmerkung 21.

19. Wesentlich für die Erklärung der schnelleren Entladung negativer Elektrizität auf Bergen ist zunächst nur die gleiche Richtung der elektrischen Felder der Erde und des geladenen Versuchskörpers. Ein besonders hoher Gehalt der Luft an freien positiven Ionen an solchen Orten als Folge der verstärkten Inten-sität des elektrischen Feldes der Erde ist indessen bei Abwesen-heit stärkeren Windes wohl auch nicht zu bezweifeln.

20. Ph. Lenard, Drudes Ann. 3, S. 298, 1900.

21. Zu demselben Schlusse gelangte gleichzeitig auch C. T. R. Wilson. (Vergl. H. Geitel, „Ueber die Elektrizitätszerstreuung in abgeschlossenen Luftmengen“. Phys. Zeitschr. 2, S. 116, 1900 und C. T. R. Witson, „On the Leakage of Electricity through dustfree Air“, Cambridge Phil. Soc., Nov. 1900 und „On the ioni-sation of atmospheric Air“, Proc. Roy. Soc. 68, p. 151, 1901.)

22. Die Beobachtungen in Höhlen und Kellerräumen, sowie die durch Luft hervorgerufene inducirte Radioactivität sind be-schrieben in den Abhandlungen: J. Elster und H. Geitel,

„Weitere Versuche über die Elektrizitätszerstreuung in abgeschlossenen Luftmengen“, Phys. Zeitschr. 2, S. 560, 1901 und „Ueber eine fernere Analogie in dem elektrischen Verhalten der natürlichen und der durch Becquerelstrahlen künstlich leitend gemachten Luft“, Phys. Zeitschr. 2, S. 590, 1901.

23. E. Rutherford, „A radioactive Substance emitted from Thorium compounds“, Phil. Mag. 49, S. 1, 1900 und „Radioactivity produced in substances by the action of Thorium compounds“. Ibid. S. 161.

24. Eine Darstellung, die sich in allen wesentlichen Punkten mit der unsrigen deckt, hat vor kurzem H. Ebert gegeben unter dem Titel: „Die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität vom Standpunkte der Ionentheorie betrachtet“, Meteor. Zeitschr. 18, S. 289, 1901.

25. J. Zeleny, „On the ratio of the velocities of the two ions produced in gases by Röntgen-radiation“, Phil. Mag. 46, S. 213, 1898.

Es muß übrigens beachtet werden, daß Villari (Rendic. R. Acc. di Lincei, Ser. [5], 10, S. 61, 1900) bei Reibung von Luft, die durch Röntgenstrahlen ionisirt war, an Metallen sowohl positive wie negative Ladungen beobachtete; das Vorzeichen schien von der Stärke der Reibung abzuhängen.

26. Daß dies für die jährliche Periode zutrifft, entnahm schon Linss aus seinen Beobachtungen der Elektrizitätszerstreuung (a. a. O., vergl. Anmerkung 11).

27. C. T. R. Wilson, „On the condensation-nuclei produced in gases bei the action of Röntgen-rays, Uranium-rays, ultra-violet light and other agents“, Phil. Trans. 192, S. 403, 1899.

28. Dies zeigt eine Betrachtung der unserer Abhandlung über die Eigenelektrizität der atmosphärischen Niederschläge (Terr. Magn., vergl. Anm. 4) beigegebenen Diagramme. — Man wird annehmen dürfen, daß beim Beginne der Wolkenbildung zuerst die Staubtheilchen als Condensationskerne wirken und durch die Tropfen entfernt werden. Erst in der so gereinigten Luft können Uebersättigungen eintreten, bei denen die elektrischen Ionen die Ansatzkerne bilden.

29. Die Stelle findet sich in der Abhandlung: „On the charge of electricity carried by the ions produced by Röntgen-rays“, Phil. Mag. 46, S. 533, 1898.

30. Als die ersten Schritte in dieser Richtung sind zu begrüßen die Untersuchungen von Townsend: „Electrical proper-

ties of newly prepared gases“, Phil. Mag. 45, S. 125, 1898 und von W. Lemme: „Ueber die Wirkung von Ionen auf den Dampfstrahl und die GröÙe der von ihnen mitgeführten Ladungen.“ Dissertation Greifswald 1901.

31. Quantitative Bestimmungen der Menge der in der Luft pro Zeit- und Volumeneinheit gebildeten Ionen liegen vor von C. T. R. Wilson (vergl. Anm. 21). Die von ihm gefundene Zahl von $1,2 \cdot 10^{-8}$ elektrostatischen Einheiten als Summe der Ladungen aller in 1 ccm pro Secunde gebildeten Ionen der einen Art ist indessen wahrscheinlich zu klein; da bei der von W. angewandten Methode das geladene System (Goldblättchen mit Träger), an dem die Zerstreuung beobachtet wird, nicht der einzige elektrische Körper in dem abgeschlossenen Raume ist. Zur Vermeidung des Verlustes über die isolirende Stütze wird nämlich diese auf demselben Potentiale erhalten, das dem Goldblatte zu Anfang des Versuches mitgetheilt war. Ein Theil der gebildeten Ionen wird daher durch das von der Stütze erregte Feld in Bewegung gesetzt werden und trägt nichts zur Entladung der elektrometrischen Vorrichtung bei.

H. Ebert („Aspirationsapparat zur Bestimmung des Ionengehaltes der Atmosphäre“, Phys. Zeitschr. 2, S. 662, 1901) bestimmte die Ladung der in 1 cbm Luft an der Erdoberfläche vorhandenen freien Ionen einer Art als etwa von der Größenordnung einer elektrostatischen Einheit.

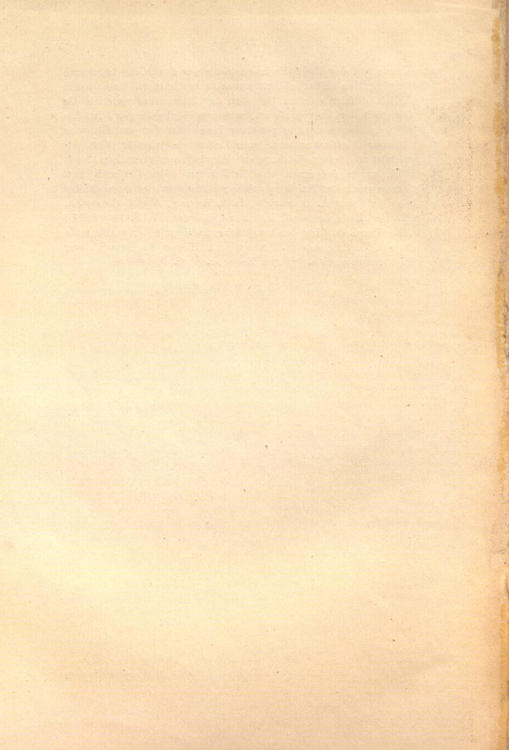
Nimmt man an, daß durch den Fall der Niederschläge die beiden Arten von Ionen vollständig getrennt werden, so würden hiernach in Luftmengen von einigen Cubikkilometern, wie sie in Gewittern in Betracht kommen, freie Elektrizitätsmengen entstehen, die die stärksten Störungen des elektrischen Feldes der Erde begreiflich machen.

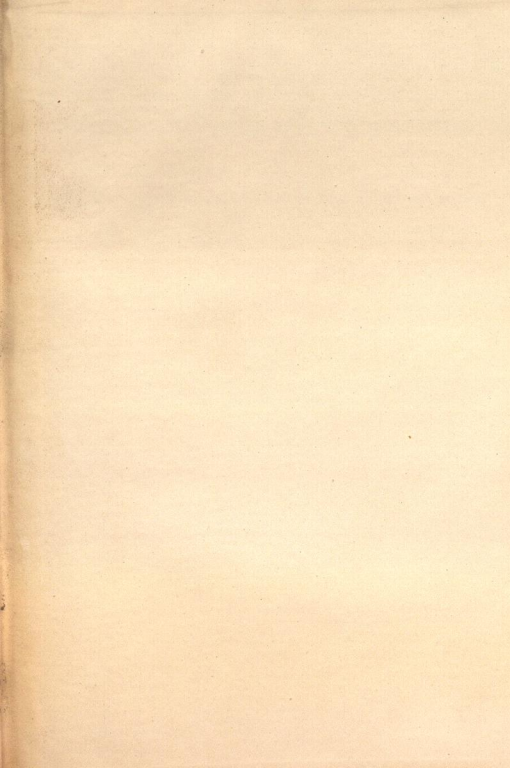
Indessen kommt es bei der Erklärung der andauernden Thätigkeit eines Gewitters wesentlich auf die Geschwindigkeit des Ersatzes der Ionen an. Man darf vielleicht an eine Zunahme der Ionenbildung mit wachsender Feldstärke denken, sobald die letztere eine gewisse GröÙe überschreitet, eine Annahme, die durch Untersuchungen von Heydweiller (Ueber bewegte Körper im elektrischen Felde und über die Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft, Wied. Ann. 69, S. 574, 1899) nahe gelegt wird. Muß ja doch auch jeder Blitzentladung erst eine gesteigerte Ionenbildung auf der Funkenbahn vorangehen.

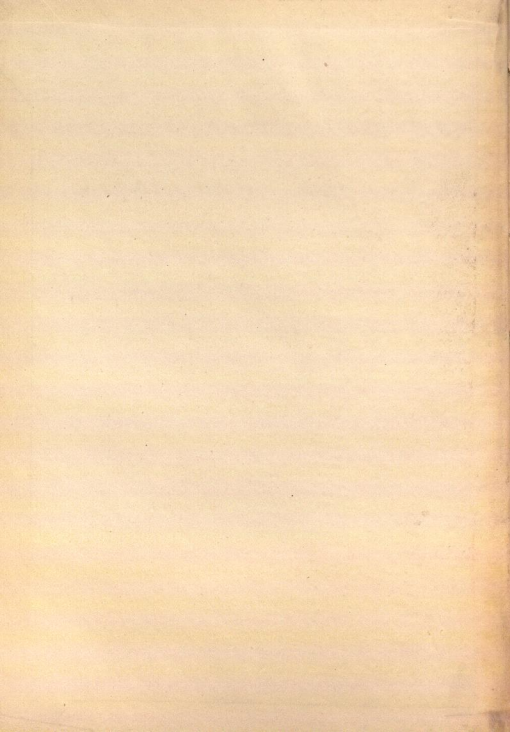
32. Es handelt sich um den Versuch, aus der GröÙe des Linienintegrals der erdmagnetischen Kraft längs einer geschlosse-

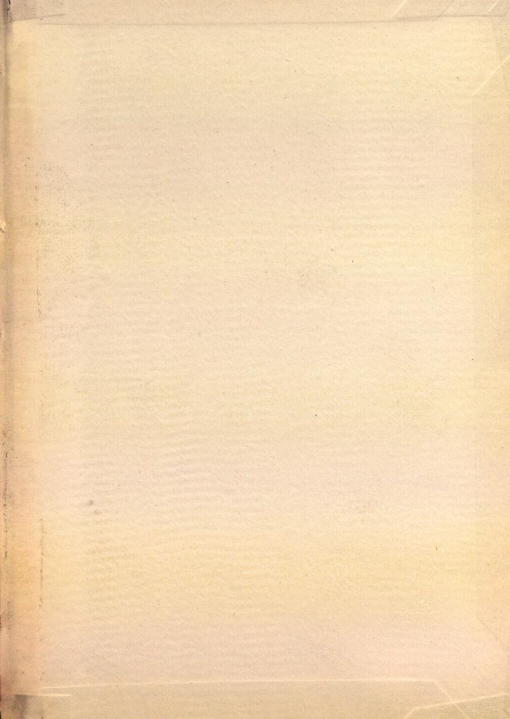
nen Curve auf der Erde die Intensität eines durch die begrenzte Fläche gehenden elektrischen Stromes zu bestimmen. Es ist nicht unmöglich, daß in solchen Gebieten der Erde, über welchen die Leitfähigkeit der Luft groß ist, wie den Hochgebirgen, infolge der starken Einwanderung positiver Ionen ein für empfindliche magnetische Meßinstrumente merklicher elektrischer Verticalstrom existirt, dessen Wirkungen sich dadurch verrathen, daß jenes Linienintegral einen von Null verschiedenen Werth hat. Die Frage nach der Existenz solcher Ströme in der Atmosphäre ist behandelt von A. Schmidt, L. A. Bauer, A. Rücker u. a. (Vergl. die „Rede Lecture“ Rückers, Nature 57, S. 160, 1897.)

33. Vergl. darüber den an gleicher Stelle wie der vorliegende gehaltenen Vortrag von W. Kaufmann: Ueber die Entwicklung des Elektronenbegriffs. (Phys. Zeitschr. 3, S. 9, 1901.)











KODAK GRAY SCALE



C	Red-Filter Negative	Cyan Printer	M	Green-Filter Negative	Magenta Printer	Y	Blue-Filter Negative	Yellow Printer
----------	---------------------	--------------	----------	-----------------------	-----------------	----------	----------------------	----------------



KODAK COLOR CONTROL PATCHES



These colors have been selected as representative of those inks commonly used in photomechanical reproduction.